

Munzur alabalığı (*Salmo munzuricus*)'nın kapalı devre akuakültür sisteminde gelişimi ve antioksidan enzim aktivitelerinin belirlenmesi

Erkan Can¹, Esin Özçiçek^{2*}, Fulya Benzer³, Mine Erişir⁴, Volkan Kızak², Mehmet Kocabaş⁵, Mehmet Ateş³, Önder Aksu², Semra Türkoğlu⁶, Filiz Kutluyur Kocabaş², Kadir Yılmaz⁷

¹İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, İzmir, Türkiye

²Munzur Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Tunceli, Türkiye

³Munzur Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Tunceli, Türkiye

⁴Fırat Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Elazığ, Türkiye

⁵Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Trabzon, Türkiye

⁶Fırat Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Elazığ, Türkiye

⁷Adana Büyükşehir Belediyesi, Adana, Türkiye

*E-mail: esinbagci23@gmail.com

Makale Bilgisi

Alınış tarihi:

09/02/2022

Kabul tarihi:

22/06/2022

Anahtar Kelimeler:

- Kapalı devre akuakültür sistemi
- Munzur alabalığı
- Büyüme parametreleri
- Enzim aktivitesi

Öz

Çalışmada, günümüzde alabalık üretiminde de deniz balıkları üretiminde olduğu kadar kullanımı hızla yaygınlaşan kapalı devre akuakültür sistemi kurulmuştur. Munzur Çayı'ndan temin edilen anaçlardan alınan yumurtalardan çıkan yavru balıkların gelişimi ve antioksidan enzim aktiviteleri araştırılmıştır. Munzur alabalığı yavruları (0,5±0,13 g) proje kapsamında kurulan kapalı devre yetiştiricilik sistemindeki 8 adet fiberglas tankta stoklanmış ve 120 gün boyunca beslenmiştir. Aylık olarak gelişim parametreleri kaydedilmiştir. Daha sonra 90.ve 120. günlerde de oksidan ve antioksidan dengesinin belirlenmesi için solungaç, karaciğer ve kaslardan doku örnekleri alınarak redükte glutasyon (GSH) ve malondialdehide (MDA) düzeyleri ile süperoksit dismutaz (SOD), glutasyon peroksidaz (GSH-Px) ve katalaz (KAT) aktiviteleri analiz edilmiştir. Çalışmanın sonunda, MDA konsantrasyonu ve GSH düzeyi solungaçlarda en yüksek bulunmuştur. Kas dokularında GSH-Px ve KAT aktivitesinde gruplar arasında farklılıkların olduğu belirlenmiştir (p<0,05). SOD aktivitesi, kaslarda diğer organlara kıyasla önemli bir artış gözlenmiştir. Çalışma sonucunda elde edilen veriler, sayıları gün geçtikçe azalmakta olan Munzur alabalığının biyo-çeşitlilik kapsamında korunması üzerine yapılacak olan çalışmalar ile ticari olarak yapılacak çalışmalar için de kaynak niteliğindedir.

Development of Munzur trout (*Salmo munzuricus*) and determination of antioxidant enzyme activities in recirculating aquaculture system

Article Info

Received:

09/02/2022

Accepted:

22/06/2022

Keywords:

- Recirculating aquaculture system
- Munzur trout
- Growth parameters
- Enzyme activity

Abstract

In the study, a recirculating aquaculture system (RAS) was established, which is becoming widespread as much as it is in the production of marine fish in trout production today. The development and antioxidant enzyme activities of the juvenile fish hatched from the eggs taken from the broodstocks obtained from Munzur Stream were investigated. The trout fries (0.5±0.13 g) were stocked in 8 fiberglass tanks in the recirculating aquaculture system established within the scope of the project and fed for 120 days. The development parameters were recorded on a monthly basis. Then, at the 90th and 120th days, tissue samples were taken from the gill, liver and muscles to determine the oxidant and antioxidant balance, glutathione (GSH) and malondialdehyde (MDA) levels, superoxide dismutase (SOD), glutathione peroxidase (GSH-Px) and catalase (CAT) activities were analyzed. At the end of the study, the MDA concentration and GSH level were found to be highest in the gills. It was determined that there were differences between GSH-Px and CAT activities in muscle tissues (p<0.05). SOD activity showed a significant increase in muscle compared to other organs. The data obtained as a result of the study is also a source for studies to be carried out on the conservation of Munzur trout, whose numbers are decreasing day by day, within the scope of biodiversity, and for commercial studies.

Atf bilgisi/Cite as: Can E., Özçiçek E., Benzer F., Erişir M., Kızak V., Kocabaş M., Ateş M., Aksu Ö., Türkoğlu S., Kocabaş F. K., Yılmaz K. (2022). Munzur alabalığı (*Salmo munzuricus*)'nın kapalı devre akuakültür sisteminde gelişimi ve antioksidan enzim aktivitelerinin belirlenmesi. Menba Kastamonu Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Dergisi, 8(1), 1-9

GİRİŞ

Salmo munzuricus, yaygın olarak kırmızı benekli alabalık olarak bilinen, erkeklerde büyük bir yağ yüzgecine sahip olmasıyla (neredeyse yaşlı erkeklerde dorsal veya anal yüzgeçler kadar büyük), çok dar beyaz kenarlı, sonra kırmızı submarjinal bant, daha sonra beyaz bir şerit veya benekler ile ayırt edilir. Önemli bir su kaynağı olan Munzur Çayı'nda ekonomik değeri yüksek, soyu tehlikede olan bir alabalık türüdür (Turan vd., 2017).

Doğal alabalık ile yapılan çalışmalar daha çok Karadeniz'de yaşayan deniz alası (*Salmo labrax*) üzerine yapılmıştır. Yetiştiriciliği ve kültüre alınabilirliği, çeşitli araştırmacılar tarafından çalışılmıştır (Tabak vd., 2001; Kurtoğlu, 2002; Kocabaş, 2009). Munzur Üniversitesi'nde bu tür üzerinde yapılan çalışmalar 2010 yılında başlamış ve üreme ve beneklenme özellikleri (Kocabaş vd., 2011), mide içeriği ve beslenme alışkanlıkları (Kocabaş vd, 2011), besin madde içeriği (Bağcı, 2013), ağır metal birikimi (Can vd., 2012a), anestezi uygulamaları (Akgül, 2014) üzerine olmuştur.

Su kalitesi parametrelerinden oksijen, nitrit, karbondioksit ve amonyak kapalı devre sistemlerde hastalık problemlerine neden olabilmektedir. Nitrat daha az zararlı olup, yüksek konsantrasyonlarda sorun oluşturmaktadır. Alabalıklar, 180 mg/l üzerindeki değerlerde nitrattan etkilenirler (Berka vd., 1981).

Kapalı devre akuakültür sistemlerinde üretim için kullanılan suyun tekrar kullanılabilir hale getirilmesi sureti ile, sürekli akan sistemlerde balık üretmek mümkündür (MacMillan, 1992; Blancheton vd., 2007; Austin vd., 2022). Böylece deşarj suyu miktarı da azaltılmış olur ve deşarj suyunun dinlendirilerek atılması kolaylaşır (Pagand, 1999; Blancheton, 2000; Léonard, 2000). Kapalı devre sistemleri birçok ünitenin birleştirilmesi ile oluşturulmuş kombine sistemlerdir (Roque d'Orbcastel vd., 2009). Sistemin detayı işletmenin kapasitesi, balık türü ve büyüklüğüne göre değişmektedir (Blancheton vd., 2007). Klasik olarak kapalı devre sistemler; katı atıkların uzaklaştırıldığı mekanik filtrasyon, oksijenlendirmenin yapıp karbondioksitin uzaklaştırıldığı gaz kontrol sistemi, amonyak ve nitritin uzaklaştırıldığı ve patojen mikroorganizmaların yok edildiği UV ve ozon ünitelerinden oluşmaktadır. Fizikokimyasal parametrelerin kontrolünün daha kolay olması, kapalı devre sistemlerin en büyük avantajlarından (Heinen vd., 1996).

Alabalık yetiştiriciliğinde kapalı veya yarı kapalı devre sistemlerin kullanılması, son yıllarda uygulanan yöntemlerdir. Çevresel duyarlılık günden güne artış göstermekte olup, özellikle Danimarka'da uygulanan sert tedbirler balık üreticilerini sularını iyi arıtmaya ve az su kullanmaya zorlamış, bu da suların arıtılarak tekrar kullanılması ve arıtılarak doğal ortama bırakılması yöntemlerinin gelişmesine neden olmuştur. (Roque d'Orbcastel vd., 2009).

Oksidatif stres ve serbest radikaller bütün canlılar için vazgeçilmez bir element olan oksijen; hidrojen, karbon, nitrojen ve kükürt ile birlikte organik moleküllerin temel yapı taşlarını oluşturur (Sun ve Hu, 2005). Ancak aerobik canlıların tüm hücrelerinde gerçekleşen metabolik reaksiyonlar için gerekli olan oksijen, aynı zamanda çok tehlikeli toksik formlar olan serbest radikallere dönüşmektedir (Fang vd., 2002; Gök vd., 2006).. Prooksidanların oluşumu ile antioksidanlar tarafından bunların yok edilme hızları arasında bir denge mevcuttur. Eğer bu denge bozulacak olursa, oksidatif bozunma ile organizmalarda pek çok patolojik bozukluklar meydana gelerek organizmanın önemli hasarlar görmesine hatta ölümüne yol açabilmektedir. Bu nedenle; zararlı bir durumda olan ROS üretimi, moleküler oksidasyon ve antioksidan tüketim aerobik hücrelerde sürekli olarak meydana gelmektedir (Kolaylı, 1996).

Su kirliliği gibi etkenler, balık ve kabuklularda oksidatif strese neden olmaktadır. Kirlenme redoks döngüsü yolu ile zararlı serbest radikaller üreten belli kirleticilerle (örneğin; metal) yakından ilgilidir. Normal aerobik metabolizmadan devamlı reaktif oksijen türlerinin üretimi ile başa çıkmak için, hücreler ve dokular hem enzimatik (SOD, KAT, GSH-PX) hem de non-enzimatik (glutatyon, vitamin E ve C, karotenoidler) çok sayıda hücrel antioksidanlar içermektedirler. Biyolojik sistemlerde hücrel antioksidan savunma sistemi, çevresel kirleticilere maruz kaldığında bozulmakta, ama canlı organizmalarda antioksidan seviyeleri oksidatif stresin neden olduğu dengesizliği düzeltmek için artmaktadır. Antioksidan enzimlerin seviyeleri, organizmanın antioksidan durumunun bir indikatörü ve oksidatif stresin biyobelirteci olarak kullanılabilir (Barim ve Karatepe, 2010). En önemli antioksidan enzimler; süperoksit anyonunu H₂O₂'ye dönüştüren süperoksit dismutaz (SOD), organik peroksitleri detoksifiye eden glutatyon peroksidaz (GSH-Px) ve H₂O₂'yi suya indirgeyen katalazdır (Guemouri vd., 1991; Kutluyer Kocabas vd., 2022).

Munzur alabalığı (*Salmo munzuricus*)'nın doğal popülasyonunun sürdürülmesi, türün su ürünleri yetiştiriciliğine tanıtılması ve doğal popülasyonunun korunması için önemlidir. Munzur alabalığının kültür ortamında, büyüme ve gelişiminin izlenmesi amacıyla yapılan bu çalışmada balıkların karaciğer, kas ve solungaçlarındaki serbest radikal ve oksidan-antioksidan değişimler izlenmiş olup kapalı devre sistemde yetiştiriciliği test edilerek gelecekteki çalışmalar için kaynak oluşturulması planlanmıştır.

MATERYAL VE YÖNTEM

Yavru Alabalık Temini ve Stoklanması

Çalışmada, öncelikle Tunceli merkezde mevcut Su Ürünleri Uygulama ve Araştırma Merkezi'ne tahsis edilen alanda kapalı devre akuakültür sistemi kurulmuştur. Çalışma kapsamında "Milli Parklar İl Şube Müdürlüğü" ile ikili işbirliği anlaşması gerçekleştirilmiştir. Bu kurumun doğayı balıklandırma amacı ile Munzur Çayı'ndan temin ettikleri anaçlardan alınan yavru balıkları doğaya bırakmaları sürecinde yavru balık temini gerçekleştirilmiştir. Munzur alabalığı yavruları (0,5±0,13 g) proje kapsamında kurulan kapalı devre yetiştiricilik sistemindeki 8 adet fiberglas tankta stoklanmış ve altı ay boyunca beslenmiştir. Gelişim performansının değerlendirilmesi için şu yöntemler kullanılmıştır:

Spesifik büyüme oranı (SBO): $100 * (\ln W_t - \ln W_0) / T - t$
 W_t = Periyot sonu ortalama balık ağırlığı;
 W_0 = Periyot başında ortalama balık ağırlığı;
 t = zaman (gün)

Yem değerlendirme oranı (FCR): $F / (W_t + D) - W_0$
F: Tüketilen yem; D: ölen balık ağırlığı;
Yaşama oranı (S): Periyot sonundaki balık sayısı x 100 / Başlangıçtaki balık sayısı

Besleme

Yem, canlı ağırlığın maksimum %10'u kadar günlük yem tüketebileceği düşünülerek planlanmış ve doyuncaya kadar yemleme tekniği günde 3 öğün olarak uygulanmıştır. Beslemelerde ticari alabalık yemi (1-2 mm, Ham protein %54, Ham yağ %14, Ham selüloz %1,5 ve Kül %11) balığın büyüklüğüne göre temin edilerek kullanılmıştır. Bununla birlikte, Ovacık İlçesi Munzur Çayı kenarlarından toplanan *Gammarus* sp. (canlı olarak) ile çalışmanın ilk 3 haftası adaptasyon amacıyla ara öğünlerde takviyeli beslemeler yapılmıştır.

Su Kalite Parametreleri

Çalışmada kullanılan suyun (şebeke suyu) sıcaklık, oksijen, tuzluluk, pH, amonyum, amonyak, kalsiyum (Ca), nitrit (NO₂), nitrat (NO₃), TDS ve DO günlük olarak ölçümleri yapılmıştır. Su kalite parametrelerinin ölçülmesinde el tipi multiparametre (YSI Profesyonel Plus) kullanılmıştır. Ağırlıkların belirlenmesinde 0.01 gram hassasiyette dijital teraziden yararlanılmıştır.

Biyokimyasal Analizler

Diseksiyon işlemleri ve dokuların hazırlanması

Balıklardaki enzim aktivitelerinin belirlenmesi için, *Salmo munzuricus* türü balıklar kullanılmıştır. Örnekler antioksidatif enzim seviyeleri belirlenmesi amacıyla, öncelikle tartılmış ve 1/5 w/v oranında PBS tamponu (fosfatla tamponlanmış tuz çözümü) (pH 7,4) eklenerek, buz ile birlikte homojenize edilmiştir. Homojenize edilen örnekler soğutmalı santrifüjde 17000 rpm'de 15 dakika santrifüj edilerek elde edilen süpernatantlar -86°C'de derin dondurucuda ölçüm işlemleri yapılmaya kadar muhafaza edilmiştir.

Analizlerin yapılışı

Oksidan ve antioksidan dengesinin belirlenmesi için solungaç, karaciğer ve kaslardan doku örnekleri alınarak redükte glutatyon (GSH) ve malondialdehide (MDA) düzeyleri ile süperoksit dismutaz (SOD), glutatyon peroksidaz (GSH-Px) ve katalaz (KAT) aktiviteleri analiz edilmiştir. Dokuda MDA seviyesi Placer vd. (1966) metoduna göre yapılmıştır. Oluşan MDA tiyobarbitürik asitle (TBARS) pembe renkli kompleks oluşturmakta ve bu çözeltinin absorbansı 532 nm'de spektrofotometrik olarak ölçülerek lipid peroksidasyonunun derecesi saptanmaktadır. MDA değeri nmol/g doku olarak hesaplanmıştır.

GSH-Px aktivitesi Matkovic vd. (1988) metoduna göre yapılmıştır. GSH-Px aktivitesi kümen hidroperoksit, Ellman ayırıcı ve kofaktör olarak GSH kullanılarak 37°C'de spektrofotometrik olarak belirlenmiştir. Enzim aktivitesi (µmol/g doku) olarak ifade edilmiştir. Katalaz aktivitesi Aebi (1984) metoduna göre yapılmıştır. H₂O₂'in 240 nm dalga boyunda azalan absorbansı takip edilmiştir. Absorbans farkı katalaz aktivitesinin hesaplanmasında kullanılmıştır. Katalaz aktivitesi k/g protein olarak ifade edilmiştir.

İndirgenmiş glutatyon (GSH) Chavan vd. (2005) metoduna göre tayin edilmiştir. Deney ortamına Ellman ayırıcı ilave edilmiş ve reaksiyon sonucunda oluşan sarı renk 412 nm de okunmuştur. GSH düzeyi µmol /g doku olarak ifade edilmiştir.

SOD enzim aktivitesi nitroblue tetrazoliumun ksantin oksidaz sistemi tarafından üretilen süperoksit radikalleri tarafından yıkımına dayanan bir metottur (Sun vd., 1988). Reaksiyon sonucunda oluşan mavi renkli formazan maksimum 560 nm'de mavi renk verir. SOD enzim aktivitesi U/mg olarak ifade edilmiştir.

İstatistik Analiz

Aynı ağırlıktaki farklı dokuları karşılaştırmak için SPSS 15 programı kullanılarak tek yönlü varyans analizi (ANOVA) ile Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi uygulanmıştır.

BULGULAR**Yavru Balıkların Aylara Göre Gelişimi**

Bireylerin ağırlık ölçümleri Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Ağırlık ölçümleri ve büyüme parametreleri

Aylar	1	2	3	4	5	6	FCR	SBO (%)	Yaşama Oranı (%)	N*
Canlı ağırlık ortalama±SH (g)	1,82 ±0,23	4,63 ±1,02	10,03 ±2,61	14,01 ±1,95	21± 4,38	32± 5,72	0,73 ±0,12	3,21 ±0,22	86 ±3,12	30

* Ölçülen balık sayısını belirtmektedir.

Su Kalite Parametreleri

Sıcaklık, oksijen, tuzluluk, pH, amonyum, amonyak, kalsiyum (Ca), TDS ve çözülmüş oksijen (DO) ölçümleri Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Su kalite parametreleri

Parametreler	Ortalama±SH	Birim
Sıcaklık	15,30±2,01	°C
Oksijen	5,81±0,69	mgL ⁻¹
pH	7,89±0,36	-
Tuzluluk	0,19±0,02	ppt
Amonyum	2,73±4,56	mgL ⁻¹
Amonyak	0,22±0,09	mgL ⁻¹
Kalsiyum	0,21±0,03	mgL ⁻¹
İletkenlik (TDS)	255,61±15,31	Ppm
Çözülmüş oksijen (DO)	71,02±5,26	%

Biyokimyasal Analizler

Çalışmanın sonunda, en yüksek MDA konsantrasyonu ve glutatyon aktivitesi solungaçlarda bulunmuştur (p>0,05). Kas dokularında GSH-Px ve KAT aktivitesinde gruplar arasında farklılıklar olduğu belirlenmiştir (p<0,05). SOD aktivitesinde kaslarda diğer organlara kıyasla önemli bir artış gözlenmiştir (p<0,05). Çalışmalar sırasında yapılan analizlerde karaciğer, kas dokusu ve solungaçlardan elde edilen oksidan-antioksidan değerleri Tablo 3, 4 ve 5’de verilmiştir.

Tablo 3. Denemelerin 3. ve 6. ayında balıkların karaciğer dokusundaki oksidan-antioksidan parametreler

Oksidan-Antioksidan Parametreler	3. ay	6. ay
MDA (nmol/g doku)	16,55±1,07	33,55±7,49*
GLUTATYON (Mmol/g doku)	0,27±0,05	0,52±0,07*
SOD (U/mg protein)	0,19±0,01	0,18±0,02
KAT (k/g protein)	147,27±3,44**	53,87±10,50
GSH-Px (µmol/g doku)	24,50±4,52	15,61±3,18

*Satırlar arasındaki farklılığın önemli olduğunu p>0,05 düzeyinde belirtmektedir.

** Satırlar arasındaki farklılığın önemli olduğunu p>0,005 düzeyinde belirtmektedir.

Tablo 4. Denemelerin 3. ve 6. ayında balıkların kas dokusundaki oksidan-antioksidan parametreler

Oksidan-Antioksidan Parametreler	3. ay	6. ay
MDA (nmol/g doku)	12,39±1,75**	6,11±1,01
GLUTATYON (Mmol/g doku)	0,07±0,01	0,10±0,01*
SOD (U/mg protein)	0,72±0,13	0,53±0,09
KAT (k/g protein)	22,25±1,10**	10,50±1,19
GSH-Px (µmol/g doku)	25,27±2,94	27,98±4,31

* Satırlar arasındaki farklılığın önemli olduğunu $p>0,05$ düzeyinde belirtmektedir.

** Satırlar arasındaki farklılığın önemli olduğunu $p>0,005$ düzeyinde belirtmektedir.

Tablo 5. Denemelerin 3. ve 6. ayında balıkların solungaç dokusundaki oksidan-antioksidan parametreler

Oksidan-Antioksidan Parametreler	3. ay	6. ay
MDA (nmol/g doku)	207,48±4,21	304,39±14,80**
GLUTATYON (Mmol/g doku)	0,72±0,09	0,89±0,15
SOD (U/mg protein)	0,24±0,03	0,16±0,03
KAT (k/g protein)	4,86±0,85	5,47±1,00
GSH-Px (µmol/g doku)	17,60±3,29*	9,16±1,16

* Satırlar arasındaki farklılığın önemli olduğunu $p>0,05$ düzeyinde belirtmektedir.

** Satırlar arasındaki farklılığın önemli olduğunu $p>0,005$ düzeyinde belirtmektedir.

TARTIŞMA

Yavru balıkların gelişimlerine bakıldığında; Can vd. (2012c) tarafından Çoruh alabalığında (*Salmo coruhensis*) yapılan bir çalışmada başlangıç ağırlığı 9,68±0,08 g iken 3 ay beslemeden sonra 39,97±2,44 g ağırlık elde edilmiştir. Bu çalışmada ise; çalışmanın 3. ayında balık ağırlığı 10,03±2,61 g iken 3 ay sonra 32±5,72 g olarak bulunmuş olup, Munzur alabalığında Can vd.'nin (2012b) Çoruh alabalığında yaptığı çalışmadan daha düşük bir gelişim oranı elde edilmiştir. Kizak vd. (2011) ise gökkuşuğu alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*) ile doğal alabalık türlerinden biri olan dere alabalığının (*Salmo trutta fario*) gelişimlerini araştırdıkları bir çalışmada; başlangıçta 0,1±0,01 g ağırlığa sahip gökkuşuğu alabalıklarının 155. günde 26,59±5,2 g olduğunu bulmuşlardır. Dere alabalığında ise bundan çok düşük bir gelişim değeri olarak 12,97±2,74 g ağırlık tespit etmişlerdir. Yaptığımız çalışmanın 150. gününde yapılan örneklemede gökkuşuğu alabalığından daha düşük ancak dere alabalığından yüksek bir değere (21±4,38 g) ulaşılmıştır. Türe ait özellikler ile ortam koşullarındaki farklılıklar gelişim farklılıklarına sebep olabilmektedir. Aynı zamanda bu çalışmada elde edilen gelişim verilerinin kahverengi alabalık türlerinden sayılan dere alabalığı (*Salmo trutta fario*) türüne kıyasla yüksek çıkmasında yem teknolojisinde elde edilen gelişmeler ile yem kalitesindeki artış önemli rol oynamış olabilir. Ayrıca çalışmamızın başlangıcında yavru balıkların granül yeme alışkın olması ve bunun yanında *Gammarus* sp. ile yapılan takviyeli beslemeler de gelişime bir miktar hız kazandırmış olabilir. Canlı yemlerle beslemenin gelişime önemli katkı sağladığı birçok araştırmacı tarafından bildirilmiştir (Altan ve Hoşsu, 1998; Hoşsu vd., 2001).

Balıkların antioksidan savunma mekanizmaları; konakçı dokusunda hasara neden olan etkenleri ortadan kaldıran veya yayılmasını sınırlayan, enfeksiyonun meydana gelmesini engelleyen ya da enfeksiyona karşı vücudun cevap vermesini sağlayan faktörlerin birçoğunu içine almaktadır (McDowell, 1989; Blazer, 1992).

Balıklar diğer omurgalılarından farklı olarak ya günlük ya da mevsimsel sıcaklık ve oksijen değişikliğine maruz kaldıkları için kararsız çevre şartlarına uyum sağlayan metabolizmaya sahiptirler. Bu savunma mekanizması da diğer omurgalılarından farklıdır ve hem enzimatik olan hem de enzimatik olmayan yapıları kapsar (Borazan Özkurt, 2006).

Pek çok faktör antioksidan enzim aktivitesini etkileyebilir. 'Yaşlanmanın serbest radikal teorisi' ile ilgili olarak, yaşlanma sırasında antioksidan aktivitenin değişimine özel dikkat çekilmiştir (Wei vd., 2005). Oksidan ürünlerin birikimindeki artış, mitokondriyal reaktif oksijen türlerinin (ROS) üretimindeki artış ve antioksidan fonksiyonundaki azalma ile ilgili pozitif ilişkiyi destekleyen önemli miktarda veri mevcuttur (Tian vd., 1998; Kasapoglu ve Ozben, 2001; Navarro vd., 2004).

Bu ürünlerden bazıları, çoklu doymamış yağ asitlerinin hücre membranlarındaki oksidatif bozulmaları içeren lipid peroksidasyon işlemi ile oluşturulur (Mladenov vd., 2006). ROS türevi kararsız lipid peroksitler, malondialdehit (MDA) gibi karbonil bileşikler de dâhil olmak üzere farklı ürünlere ayrışır. MDA'nın ölçümü, lipid peroksidasyon seviyesinin

değerlendirilmesi için güvenilir bir yöntemdir ve yaşlanmanın en önemli biyolojik belirteçlerinden biridir (Pandey ve Rizvi, 2010).

Munzur alabalığı (*Salmo munzuricus*)'nın, büyüme ve gelişiminin izlenmesi amacıyla yapılan çalışmada 10 g ve 30 g ağırlığındaki balıkların karaciğer, kas ve solungaçlarındaki serbest radikal ve oksidan-antioksidan değişimler izlenmiş ve bu değişimlerin bazı parametrelerde dokulara göre farklılık gösterdiği gözlenmiştir. Serbest radikal hasarının göstergesi olan MDA 10 g balıklarda kas dokusunda daha yüksek çıkarken, 30 g balıklarda ise karaciğer ve solungaç dokusunda daha yüksek çıkmıştır. Kas ve karaciğerde yaşlanmaya bağlı olarak GSH düzeylerinde artış görülmüştür. SOD aktivitesi her üç dokuda da yaşa bağlı olarak bir değişim göstermemiştir. Katalaz aktivitesi kas ve karaciğerde yaşa bağlı olarak düşüş göstermiştir. GSH-Px aktivitesindeki düşüş; solungaçta istatistiksel olarak anlamlı bulunurken, karaciğerde ise anlamlı bulunmamıştır.

Mladenov vd. (2015) tarafından yapılan rat eritrositlerinde lipid peroksidasyon ve antioksidan ilişkisinin araştırıldığı çalışmada d-galaktoz (d-gal) verilerek suretiyle yaşlandırılan ratların eritrosit katalaz aktivitesinin yaşlanmaya bağlı olarak arttığı görülmüştür. Bu sonuç, çalışma sonucumuz ile uyumlu değildir. SOD ve GSH-Px arasında negatif korelasyon bulunmuş, ancak katalaz ile aralarında bir korelasyon bulunmamıştır.

Yaşlanma, fizyolojik düşüş ile ilişkili çok faktörlü bir süreçtir. Mladenov vd. (2015) tarafından farklı yaşlardaki ratların antioksidan durumu üzerine yaşlanmanın (D-galaktoz verilerek) etkisinin araştırıldığı çalışmada gruplar; genç plasebo (YP), D-gal ile muamele edilen genç (YT), olgun plasebo (MT), D-galaktoz ile muamele edilen olgun (MT), yaşlı plasebo (AP) ve D-galaktoz tedavisi gören yaşlı rat (AT) şeklinde bölünmüştür.

Yaşın MDA ve antioksidan durum üzerine etkisinin araştırıldığı çalışmada ratlar 1, 3 ve 15 aylık gruplara ayrılmıştır. Çalışma sonucunda doğal yaşlanma sürecinin karaciğer ve böbrekte SOD aktivitesini değiştirmediği görülmüştür. Çalışmamızda da yaşa bağlı SOD aktivitesinde bir değişiklik olmamıştır. Aynı çalışmada d-gal ile muamele edilen genç ratlara oranla erişkin ve yaşlı ratlarda hem karaciğer hem de böbrekte SOD aktivitesinin düştüğü görülmüştür. Sonuç, bu yönüyle çalışmamıza uymamaktadır.

Doğal yaşlanma sürecinde karaciğer ve böbrekte katalaz aktivitesi değişmemiş, d-gal uygulaması da bir değişikliğe neden olmamıştır. Ancak d-gal ile muamele edilen erişkin ratlarda katalaz aktivitesi, d-gal ile muamele edilen genç ratlara oranla oldukça yüksek çıkmıştır. Çalışmamızda katalaz aktivitesi yaşa bağlı olarak düşmüş, sadece solungaçta değişikliğe uğramamıştır.

Doğal yaşlanma ve d-gal uygulaması böbrekte ve karaciğerde GSH-Px aktivitesinde belirgin olarak artışa neden olmuştur. Çalışmamızda GSH-Px değişime uğramamıştır.

Doğal yaşlanma MDA üzerinde önemli bir değişikliğe neden olmazken, karaciğerde ve böbrekte d-gal uygulaması yaş artıkça önemli derecede artmıştır. Çalışmamızda MDA'nın solungaç ve karaciğerde artması ile kısmen uyumludur. Çalışmamızda solungaç dokusundaki MDA hasarının diğer dokulara göre fazla çıkması, aşırı oksijene maruz kalma sonucu serbest radikal oluşumundaki artış ile ilgili olabilir.

Hücrelerde yeterli antioksidan oranını korumak amacıyla bir antioksidandaki azalma, diğer bir antioksidandaki artış ile telafi edilebilir (Rikans vd., 1992).

Thiyagarajan vd. (2012) tarafından yaşlanma üzerine panax ginseng ekstraktının etkilerinin araştırıldığı çalışmada; karaciğer, böbrek, akciğer ve kalpte MDA seviyesi yaşlanmaya bağlı olarak artmıştır. Karaciğer ve böbrekte yaşlanmaya bağlı olarak SOD, KAT ve GPx, GST aktiviteleri ve GSH düzeyleri azalmıştır. Çalışmamızda bazı dokularda yaşa bağlı MDA artışı ve antioksidan enzim aktivitesindeki azalma, Thiyagarajan vd. (2012)'nin çalışması ile kısmen uyumludur.

SONUÇ

Bioçeşitlilik, bir ülkenin en önemli biyolojik zenginliğidir. Munzur alabalığı doğal alabalık türüdür. Bu bağlamda, Munzur alabalığının korunması ve kültüre edilmesi ülkemiz açısından oldukça önemlidir. Kahverengi alabalıkların azalması üzerinde sadece çevresel koşulların değişmesi (su kalite kriterleri) değil, diğer taraftan kaçak avcılığın etkisi olduğu da düşünülmektedir.

Çalışmada bioçeşitlilik yönünden ve henüz potansiyeli yüksek olmasına rağmen yetiştiricilik şartlarında rahat görmeyen bir balık türü olmasından dolayı *Salmo munzuricus* (Munzur Alabalığı) türüne odaklanılmıştır.

Sonuç olarak, Munzur alabalığının kültür şartlarına karşı göstereceği olası tepkileri ortaya koyarak bu balıkların kültür ortamında yetiştirilmesine ilişkin önemli bulgular sağlamıştır. Çalışma sonunda elde edilen veriler, Munzur alabalığı için uygun akuakültür ortamının belirlenmesine ve daha bilinçli bir yetiştiricilik anlayışı ile sayısal artışı da beraberinde getirmek suretiyle, tür çeşitliliğinin korunmasına katkı sağlayacaktır.

Bu konu kapsamında en önemli olan husus, günümüzde alabalık üretiminde deniz balıkları üretiminde olduğu kadar kullanımı hızla yaygınlaşan kapalı devre sistem yetiştiricilik tekniğinin kullanılmış olmasıdır. Çalışma sonucunda elde edilen veriler, sayıları gün geçtikçe azalmakta olan Munzur alabalığı stoklarının bioçeşitlilik kapsamında korunması, sayısal olarak artırılması ve diğer taraftan da uzun vadede ticari olarak ülkemize katkıda bulunması açısından önemli getiriler sağlayacaktır.

Kapalı devre akuakültür sistemlerinde alabalık yetiştiriciliğini sınırlandıran en önemli etken yatırım maliyetlerinin yüksek olmasıdır. Ancak kırmızı benekli doğal alabalık türlerinin kültüre alınması hem ekonomik açıdan hem de doğal stokların balıklandırma ile zenginleştirilerek korunması açısından büyük önem arz etmektedir. Bununla birlikte çalışmada odaklanılan

biyolojisi bilinen yeni türlerin kültüre edilmesinde optimum şartların temininde kapalı devre yetiştiricilik sistemlerinin kullanılması önemli avantajlar oluşturmaktadır.

Sonuç olarak, hem çevre hem de ekonomik değer birlikte ele alındığında Munzur alabalığının kapalı devre sistemlerde yetiştiriciliğin yapılması önerilmektedir. Özellikle kapalı devre yetiştiricilik sistemlerinde yavru üretimlerinin yapılarak belirli bir boya getirildikten sonra stokların zenginleştirilmesi doğaya bırakılması resmi kurumların ve sivil toplum örgütlerinin öncelikli konuları arasında yer almalıdır.

ETİK STANDARTLARA UYUM

Yazar katkıları

Bütün araştırmacılar projede görev almış olup çalışmaya katkı sunmuşlardır.

Çıkar çatışması

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Çalışmaya İlişkin Beyan

Etik onay: Bu tür bir çalışma için resmi onay gerekli değildir (Çalışmanın başladığı yıl gerekli değildi).

İnsan Hakları Beyanı

Etik onay: Bu tür bir çalışma için resmi onay gerekli değildir.

KAYNAKLAR

- Austin, B., Lawrence A.*, Can., E., Carboni, C., Carboni, S., Crockett, C., Demirtaş Erol, N., Dias Schleder, D., Jatobá, A., Thompson, K., Karacalar, U., Kayış, Ş., Kızak, V., Kop, A., Mendez Ruiz, C. A., Osman Serdar, Seyhaneyildiz Can, S. Yücel Gier, G. (2022). Sustainable Aquaculture Research: Today and Future Focus, Sustainable Aquatic Research, (2), 55-x.
- Aebi, H. (1984). Catalase. In: Bergmeyer, H.U. (Ed.): Methods of Enzymatic Analysis. Academic press, London, pp. 671-684.
- Akgül, E. (2014). Farklı konsantrasyonlarda 2-fenoksietanol'ün farklı su sıcaklıklarında Munzur alması (*Salmo trutta* sp.) yavruları üzerine olan anestezi etkileri. Yüksek Lisans Tezi. Munzur Üniversitesi, Tunceli, Türkiye.
- Altan, Ö., & Hoşsu, B. (1998). Deniz balığı larvalarının besin madde gereksinimleri. Tarım Dünyası Dergisi, 2, İzmir.
- Bağcı, E. (2013). Munzur Çayı (Tunceli)'nden yakalanan *Salmo trutta macrostigma* (Dumeril, 1858)'nin gonadlarında yağ asitleri, kolesterol ve yağda eriyen vitamin düzeylerinin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi. Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye.
- Barim, O., & Karatepe, M. (2010). The effects of pollution on the vitamins A, E, C, B- carotene contents and oxidative stress of the freshwater crayfish, *Astacus leptodactylus*. Ecotoxicol. Environ. Safe., 73: 138-142.
- Berka, R., Kujal, B., & Lavicky, J. (1981). Recirculating systems in Eastern Europe. Proc. World Symp. On aquaculture in heated effluents and recirculation systems, 2, Stavanger, 28-30 May 1980, Berlin.
- Blancheton, J. P., Piedrahita, R., Eding, E. H., Roque d'orbcastel, E., Lemarié, G., Bergheim, A., & Fivelstad. S. (2007). Intensification of landbased aquaculture production in single pass and reuse systems. Chapter 2. In Aquaculture Engineering and Environment.
- Blancheton, J. P. (2000). Developments in recirculation systems for Mediterranean fish species. Aquacult. Engin., 22: 17-31.
- Blazer, V. S. (1992). Nutrition and disease resistance in fish. Annal. Rev. Fish Dis., 2: 309-323.
- Borazan Özkurt, G. (2006). Balıklarda deniz kirliliğinin biyobelirteçleri. Türk Vet. Hek. Birl. Derg., 1(2): 71-76.
- Can, E., Yabancı, M., Kehayias, G., Aksu, Ö., Kocabaş, M., Demir, V., Kayım, M., Kutluyer, F., & Şeker, S. (2012a). Determination of bioaccumulation of heavy metals and selenium in tissues of Brown Trout *Salmo trutta macrostigma* (Dumeril, 1858) from Munzur Stream Tunceli Turkey. Bull. Environ. Contam. Toxicol., 89: 1186-1189.
- Can, E., Erdoğan, M. D., Hamzaçebi, S., Seyhaneyildiz Can, Ş., & Hamzaçebi, B. (2012b). Su ürünleri yetiştiriciliğinde kapalı devre sistemler ve yönetimi. Türkiye'nin Kıyı ve Deniz Alanları IX. Ulusal Kongresi, Antakya; 11.
- Can, E., Kurtoğlu, İ. Z., Benzer, F., Kocabaş, M., Kızak, V., Kayım, M., & Çelik, H. T. (2012c). The effects of different dosage of kefir on growth performances and antioxidant system in the blood and liver tissues of Çoruh Trout (*Salmo coruhensis*). Turk. J. Fish. Aquat. Sci., 12(5): 277-283.
- Chavan, S., Sava, L., Saxena, V., Pillai, S., Sontakke, A., & Ingole, D. (2005). Reduced Glutathione: Importance of specimen collection. J. Clin. Biochem., 20(1): 150-152.
- Fang, Y. Z., Yang, S., & Wu, G. (2002). Free radicals, antioxidants and nutrition. Nutrition, 18: 872-879.

- Gök, V., Kayacier, A., & Telli, R. (2006). Hayvansal ve mikrobiyal kaynaklı doğal antioksidanlar. Gıda Tekn. Elektr. Derg., 2: 35-40.
- Guemouri, L., Artur, Y., Herbeth, B., Jeandel, C., Cuny, G., & Siest, G. (1991). Biological variability of superoxide dismutase, glutathione peroxidase and catalase in blood. Clin. Chem., 37(11): 1932-1937.
- Heinen, J. M., Hankins, J. A., Weber, A. L., & Watten, B. J. (1996). A semi-closed recirculating water system for high density culture of rainbow trout. Prog. Fish Cult., 58: 11-22.
- Hoşsu, B., Korkut, A. Y., & Fırat, A. (2001). Balık Besleme ve Yem Teknolojisi I, 2.Baskı. E.Ü. Su Ürünleri Fak. Yay. No: 50, Ders Kitapları Dizini no:19. İzmir.
- Kasapoglu, M., & Ozben, T. (2001). Alterations of antioxidant enzymes and oxidative stress markers in aging. Exp. Geront., 36: 209-220.
- Kızak, V., Guner, Y., Turel, M., Can, E., & Kayim, M. (2011). A comparison of the survival and growth performance in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and brown trout (*Salmo trutta fario*) fry. Afr. J. Agric. Res., 6(5): 1274-1276
- Kocabaş, M. (2009). Türkiye doğal alabalık (*Salmo trutta*) Ekotiplerinin Kültür Şartlarında Büyüme Performansı ve Morfolojik Özelliklerinin Karşılaştırılması. Doktora Tezi. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, Türkiye.
- Kocabaş, M., Kayim, M., Can, E., Ateş, M., Kutluyur, F., & Aksu, Ö. (2011). Spotting pattern features in the brown trout (*Salmo trutta macrostigma*, T., 1954) population. Sci. Res. Ess., 6: 5021-5024.
- Kolaylı, S. (1996). Tatlı su ve deniz suyunda yetişen gökkuşuğu (*Salmo gairdneri*) türü alabalıklarda bazı antioksidan enzim aktiviteleriyle lipid peroksidasyon seviyeleri. Doktora Tezi. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, Türkiye.
- Kurtoğlu, İ. Z. (2002). Kahverengi alabalıkların (*Salmo trutta labrax*, L.) doğal stokları zenginleştirmek ve kültür potansiyellerini belirlemek amacıyla yoğun şartlarda üretim imkânlarının araştırılması. Doktora Tezi. İstanbul Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
- Kutluyur Kocabas F., Kocabas M., Aksu O. and Cakir Sahilli Y. (2022).The evaluation of oxidative stress and quality of spermatozoa in padanian barbel *Barbus plebejus* and chub *Squalius orientalis*. Sustainable Aquatic Research,1(1), 39-43.
- Léonard, N. (2000). Recherche et élimination des facteurs inhibiteurs de croissance dans les élevages piscicoles en circuit fermé. Thèse de doctorat de l'université de Montpellier 2. Montpellier, France, 165 p.
- MacMillan, J. R. (1992). Economic implications of water quality management for a commercial trout farm. Pages 185–190 in National Livestock, Poultry, and Aquaculture Waste Management, edited by J. Blake, J. Donald, and W. Magette. St. Joseph, Michigan: American Society of Agricultural Engineers.
- Matkovics, B., Szabo, I., & Varga, I. S. (1988). Determination of enzyme activities in lipid peroxidation and glutathione pathways. Laboratoriumi Diagnosztika, 15: 248–249.
- McDowell, L. R. (1989). Vitamins in animal nutrition-comparative aspects to human nutrition: Vitamin E. In McDowell, L.R. Academic Press, London. pp 93–131.
- Mladenov, M., Gjorgoski, I., Stafilov, T., & Durdanova, D. (2006). Effect of vitamin C on lipid hydroperoxides and carbonyl group content of rat plasma depending on age and acute heat exposure. J. Therm. Biol., 31: 588-593.
- Mladenov, M., Gokik, M., Hadzi-Petrushev, N., Gjorgoski, I., & Jankulovsk, N. (2015). The relationship between antioxidant enzymes and lipid peroxidation in senescent rat erythrocytes. Physiol. Res., 64: 891-896.
- Navarro, A., Gomez, C., López-Cepero, J., & Boveris, A. (2004). Beneficial effects of moderate exercise on mice aging: survival, behavior, oxidative stress, and mitochondrial electron transfer. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol., 286: R505-R511.
- Pagand, P. (1999). Traitement des effluents piscicoles marins par lagunage à haut rendement algal. Thèse de doctorat de l'université de Montpellier 1, Montpellier, France, 220 p.
- Pandey, K., & Rizvi, S. (2010). Markers of oxidative stress in erythrocytes and plasma during aging in humans. Oxid. Med. Cell. Longev., 3: 2-12.
- Placer, Z. A., Cushman, L. L., & Johson, B. C. (1966). Estimation of product of lipid peroxidation (malonyl dialdehyde) in biochemical systems. Anal. Biochem., 16: 359–364.
- Rikans, L., Snowden, C., & Moore, D. (1992). Effect of aging on enzymatic antioxidant defenses in rat liver mitochondria. Gerontology, 38: 133-138.
- Roque d'Orbcastel, E., Blancheton, J. P., & Aubin, J. (2009). Towards environmentally sustainable aquaculture: Comparison between two trout farming systems using life cycle assessment. Aquacult. Engin., 40: 113-119.

- Sun, Y., Oberley, W. L., & Li, Y. (1988). A simple method for clinical assay of superoxide dismutase. *Clin. Chem.*, 34, 497-500.
- Tabak, İ., Aksungur, M., Zengin, M., Yılmaz, C., Aksungur, N., Alkan, A., Zengin, B., & Mısır, D. S. (2001). Karadeniz alabalığı (*Salmo trutta labrax*, Pallas 1811)'nın biyoekolojik özellikleri ve kültüre alınabilirliğinin tespiti, Central Fisheries Research Institute, Project Report, Trabzon, 230 pp.
- Thiyagarajan, R., Sung-Won, K., Jong-Hwan, S., Seock-Yeon, H., Sang-Hyon, S., Sung-Kwang, Y., & Si-Kwan, K. (2012). Effect of fermented Panax ginseng extract (GINST) on oxidative stress and antioxidant activities in major organs of aged rats. *Exper. Gerontol.*, 47: 77-8.
- Tian, L., Cai, Q., & Wei, H. (1998). Alterations of antioxidant enzymes and oxidative damage to macromolecules in different organs of rats during aging. *Free Radic. Biol. Med.*, 24: 1477-1484.
- Turan, D., Kottelat, M. & Kaya, C. (2017). *Salmo munzuricus*, a new species of trout from the Euphrates River drainage, Turkey (Teleostei: Salmonidae). *Ichthyological Exploration of Freshwaters*, 28, 55-63.
- Wei, H., Li, L., Song, Q., Ai, H., Chu, J., & Li, W. (2005). Behavioral study of the D-galactose induced aging model in C57BL/6J mice. *Behav. Brain Res.*, 157: 245-251.